柑橘大实蝇对不同柑橘品种的产卵偏好和幼虫取食选择

刘 路, 周 琼*, 宋傲群, 尤克西

(湖南师范大学生命科学学院, 长沙 410081)

摘要:【目的】掌握柑橘大实蝇 *Bactrocera minax* 对不同品种柑橘的产卵偏好,以及与幼虫取食喜嗜性的关系。【方法】我们用五点取样法分别调查了自然条件下不同品种柑橘果园的虫果率,统计了各品种柑橘虫果基半部和端半部产卵痕量和卵量,并在实验室内采用培养皿桔瓣选择法研究了其幼虫对不同柑橘品种果实的取食选择。【结果】在未采取防控措施的情况下,果树面朝杂树林的方位虫果率显著高于其他方位;同一片受害柑橘园内,不同柑橘品种的虫果率为脐橙 *Citrus sinensis* cv. Navel、酸橙 *C. aurantium* > 冰糖橙 *C. sinensis* cv. Bingtang、天草(Amakusa)、蜜橘 *C. reticulata* cv. Satsuma > 沙田柚 *C. maxima* cv. Shatian > 椪柑 *C. reticulata* cv. Ponkan;柑橘大实蝇产卵痕数和卵量均为橙类(脐橙、酸橙和冰糖橙)大于橘类(天草、蜜橘和椪柑)和沙田柚($P < 0.05$);除蜜橘外,所调查的其他柑橘品种端半部的产卵痕数显著多于基半部($P < 0.05$);幼虫对不同品种柑橘橘瓣肉的取食选择顺序依次为:脐橙、酸橙 > 冰糖橙 > 天草、南橘 *C. reticulata* cv. Nanju > 蜜橘 > 椪柑 > 沙田柚。【结论】结果提示,柑橘大实蝇成虫偏向于选择幼虫所喜嗜的橙类品种产卵,且产卵量更多。

关键词: 柑橘大实蝇; 柑橘品种; 产卵偏好; 产卵痕; 取食选择; 嗅觉反应

中图分类号: Q968 **文献标识码:** A **文章编号:** 0454-6296(2014)09-1037-08

Adult oviposition and larval feeding preference for different citrus varieties in *Bactrocera minax* (Diptera: Tephritidae)

LIU Lu, ZHOU Qiong*, SONG Ao-Qun, YOU Ke-Xi (College of Life Sciences, Hunan Normal University, Changsha 410081, Hunan)

Abstract:【Aim】This study aims to understand the preference of *Bactrocera minax* for several citrus varieties.【Methods】We investigated the diseased citrus ratio of different citrus varieties in citrus orchards under natural conditions by five-point sampling method, counted the numbers of egg-laying marks and eggs laid on the basal hemisphere and distal hemisphere of citrus fruit, and examined the larval feeding preference of *B. minax* to host odorants of citrus petals by the selection tests in the laboratory.【Results】The results showed that the rate of oviposition sites on citrus fruits facing the forest harborage was significantly higher than that at any other directions in citrus orchards, and the oviposition preference of *B. minax* found was *Citrus sinensis* cv. Navel and *C. aurantium* > *C. sinensis* cv. Bingtang, Amakusa, and *C. reticulata* cv. Satsuma > *C. maxima* cv. Shatian > *C. reticulata* cv. Ponkan. The numbers of egg-laying marks and eggs laid on oranges (*C. sinensis* cv. Navel, *C. aurantium* and *C. sinensis* cv. Bingtang) were higher than those on tangerines (Amakusa, *C. reticulata* cv. Satsuma, *C. reticulata* cv. Ponkan) and *C. maxima* cv. Shatian ($P < 0.05$). The number of egg-laying marks on the distal hemisphere of citrus fruit was significantly than that on the basal hemisphere ($P < 0.05$) (except *C. reticulata* cv. Satsuma). Larval feeding preference was closely correlated with adult oviposition preference.【Conclusion】Our results suggest that oviposition preference of *B. minax* is related to larval feeding preferences.

Key words: *Bactrocera minax*; citrus varieties; oviposition preference; egg-laying mark; feeding preference; olfactory response

---

基金项目: 国家公益性行业(农业)科研专项(201203036); 湖南省自然科学基金重点项目(14JJ5029); 湖南省研究生科研创新项目(CX2014B227)

作者简介: 刘路, 男, 1989 年生, 湖南澧县人, 硕士研究生, 研究方向为昆虫行为与化学生态学, E-mail: txwana@163.com

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: zhoujoan@hunnu.edu.cn

收稿日期 Received: 2013-12-04; 接受日期 Accepted: 2014-08-01

昆虫与植物之间有着千丝万缕的联系，它们对人类的农林生产和生活环境都有很大的影响（钦俊德和王琛柱，2001），利用调节昆虫取食、交配、产卵等行为的信息化学物质发展新的防治技术受到广泛重视。目前有关昆虫对寄主植物的选择机制方面已有大量研究，昆虫选择寄主植物主要受寄主植物所含的营养物质、选择压力以及植物气味等因素影响（Berdegue *et al*., 1998; Williams *et al*., 2012）。最优产卵理论（optimal oviposition theory）认为昆虫往往选择在最有利其后代个体存活和生长发育的寄主植物上产卵（Jaenike, 1978），该理论仍存在争议。在 Mayhew（1997）已经证实的 133 种植食性昆虫中，有一半昆虫成虫的产卵选择与后代的生长发育没有或很少有联系（Videla *et al*., 2012）；而在另一些种类的昆虫中，最优产卵理论得到了证实，如鳞翅目昆虫雌成虫往往将卵产在更适于幼虫发育和存活的寄主植物上（Patricelli *et al*., 2011），双翅目实蝇科昆虫的雌成虫通常将卵产在更适应其幼虫生长发育的果实中（Fontellas-Brandalha and Zucoloto, 2004），果实中营养物质的成分和质量可能对幼虫的大小、发育、蛹重、羽化和成虫的生殖能力造成影响（Rattanapun *et al*., 2010）。

柑橘大实蝇 *Bactrocera minax* 俗称“柑蛆”，寡食性，为害柑橘类果实，是柑橘的毁灭性害虫。该虫属双翅目（Diptera）实蝇科（Tephritidae）寡毛实蝇亚科（Dacinae）（陈世骧和谢蕴贞，1955），主要分布在印度、不丹以及中国的四川、重庆、湖南、湖北、贵州、云南、广西等柑橘主产区（Drew *et al*., 2006; 肖伟等，2013）。该虫一年只发生 1 代（Dorji *et al*., 2006），雌虫产卵于柑橘果皮下，卵孵化后，幼虫在果实内取食果瓤（Dong *et al*., 2013），造成果实未熟先黄脱落，不可食用。寄主植物的营养成分和次生化合物除影响昆虫产卵选择性以外，还影响昆虫的生长发育和繁殖。在测试的 6 个寄主植物品种中，番石榴实蝇 *Bactrocera correcta* 在嗜好的番石榴和甜橙上产卵量更高，幼虫的化蛹率和存活率也更高（刘慧等，2014）。研究橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis* 对不同莲雾品种的偏好性发现，橘小实蝇在产卵偏好较强的黑珍珠果内幼虫的寄生量大、蛹较重、存活率高，其最为适宜橘小实蝇的生长发育；而在产卵偏好较弱的泰国种果内幼虫的寄生量少、蛹较轻、存活率低，其最不适宜橘小实蝇生长发育（阮赞誉，2012）。为弄清柑橘大实蝇对不同品种柑橘的产卵偏好与幼虫取食选择之间的相关性，我们调查了自然条件下成虫对不同柑橘品种及其部位的产卵选择以及幼虫对不同柑橘品种果实的取食选择，以期为柑橘大实蝇的产卵选择机制研究以及柑橘大实蝇引诱增效剂的开发和利用提供依据。

1　材料与方法

1.1　供试虫源和橘果来源

柑橘大实蝇幼虫：于 2013 年 8－9 月湘西北柑橘主产区（111°12′19″～112°04′15″E, 29°16′30″～29°57′30″N）未采取防控措施柑橘园采集虫果。从蜜橘虫果中选取刚孵化的 1 龄幼虫，在实验室 25±1℃，相对湿度 70%±10%，光周期 12L∶12D 的条件下用蜜橘果肉进行饲养，建立试验种群。

柑橘果实及虫果：采自湘西北柑橘主产区未采取防控措施柑橘果园，品种分别为：脐橙 *Citrus sinensis* cv. Navel、酸橙 *C. aurantium*、冰糖橙 *C. sinensis* cv. Bingtang、蜜橘 *C. reticulata* cv. Satsuma、天草（Amakusa）（一个橘类和橙类的复杂的多重杂交品种）、椪柑 *C. reticulata* cv. Ponkan、沙田柚 *C. maxima* cv Shatian、南橘 *C. reticulata* cv. Nanju，果实采自湖南师范大学生命科学学院植物园。

1.2　不同品种柑橘果园受害情况调查

2013 年 8－10 月，在湖南西北部柑橘主产区分别选取未采取防控措施的面积约 650～680 m^2 大小脐橙、酸橙、冰糖橙、天草、蜜橘、沙田柚和椪柑的柑橘园，采用 5 点取样法，在柑橘园的东、南、西、北、中 5 个方位各选取两棵果树，调查统计整棵树的虫果率。

1.3　受害橘果的产卵痕与产卵量的计数

2013 年 8－9 月，从上述果园中采集虫果（包括脐橙、酸橙、冰糖橙、天草、蜜橘、沙田柚和椪柑），带回实验室，分基半部和端半部统计虫果的产卵痕数，并从产卵痕附近将柑橘切开，顺着产卵痕迹在果内找到虫卵，记录每个产卵痕内的卵量，并统计每个虫果的总卵量。

1.4　幼虫对不同品种柑橘果实的喜嗜性实验

参照叶蝶法（周琼等，2011）改进的橘瓣选择法，从 1.1 节饲养的幼虫中挑取健康的大小相似的 3 龄幼虫，饥饿处理 4 h 后供试。将形状相似的直径约 2 cm 的 4 种新鲜柑橘（酸橙、冰糖橙、蜜橘和脐橙）去皮果瓣均匀摆放于培养皿（Φ 120 mm）内周边，每皿中央接入 1 头经饥饿处理的柑橘大实蝇幼虫，用保鲜膜将培养皿口封住，在保鲜膜上扎适量的通气孔，并用黑布遮光，同时处理 30 头虫。每 12 h 记录一次幼虫所停留取食橘瓣种类，连续记录 3 d，

共 6 次，室温为 24～26℃。分别同时测试每组中柑橘大实蝇幼虫对 4 个品种的取食选择。分组方式为：酸橙、冰糖橙、天草和沙田柚，酸橙、天草、椪柑和蜜橘，脐橙、酸橙、南橘和蜜橘，脐橙、酸橙、冰糖橙、蜜橘，脐橙、酸橙、冰糖橙和蜜橘。

1.5　数据统计和分析方法

虫果率(%)：为每棵果树上虫果数占总果实数的比例；

产卵痕数(痕/果)：为果实表皮总产卵痕数(包括有卵痕和无卵痕)；

有卵痕数(痕/果)：为果实表皮产卵痕内有虫卵的产卵痕数；

有卵痕率(%)：为每个果实表皮有卵痕数占该果实表面总产卵痕数的比例；

卵量(粒/果)：为每个虫果内的总卵量；

有卵痕卵量(粒/痕)：虫果的每个有卵痕内的卵量。

实验数据采用 Excel2003 和 SPSS17.0 软件处理。采用 Duncan 氏新复极差多重比较法和成对数据 *T*-检验进行差异显著性分析。统计检验前对各品种柑橘园虫果率进行反正弦平方根处理。

2　结果与分析

2.1　不同品种果园柑橘虫果率比较

不同品种柑橘中，脐橙和酸橙上的虫果率最高，分别达到 100% 和 99.27%，显著高于其他品种的柑橘上的虫果率($P<0.05$)；其次是冰糖橙、天草和蜜橘上的虫果率，分别为 77.20%，74.69% 和 73.16%，三者之间差异不显著($P>0.05$)，但显著高于沙田柚上的虫果率(52.62%)，椪柑上的虫果率最低(3.04%)($P<0.05$)。随后对各品种柑橘虫果率进行反正弦平方根处理，柑橘园调查统计结果见图 1。研究还发现，果树朝杂树林(果园外)方位的果实虫果率通常高于其他方位。

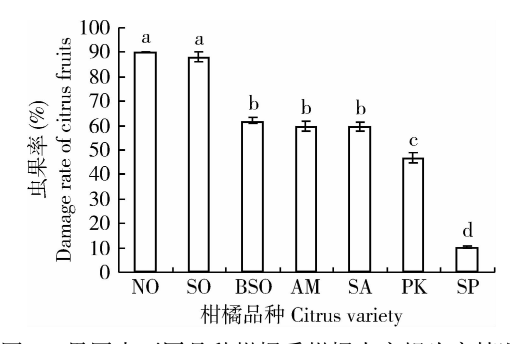


图 1　果园中不同品种柑橘受柑橘大实蝇为害情况

Fig. 1　The damage rates of different citrus varieties suffered from *Bactrocera minax* in orchards

NO：脐橙 *Citrus sinensis* cv. Navel；SO：酸橙 *C. aurantium*；BSO：冰糖橙 *C. sinensis* cv. Bingtang；AM：天草 Amakusa；SA：蜜橘 *C. reticulata* cv. Satsuma；PK：椪柑 *C. reticulata* cv. Ponkan；SP：沙田柚 *C. maxima* cv. Shatian. 下同 The same below. 柱上小写字母不同表示经 Duncan 氏新复极差多重比较在 0.05 水平差异显著。Different lowercases above bars indicate significant difference at the 0.05 level by Duncan's new multiple range comparison.

表 1　柑橘大实蝇在不同品种柑橘上的产卵情况比较

Table 1　Numbers of egg-laying marks of *Bactrocera minax* on different citrus varieties

柑橘品种 Citrus variety	产卵痕数(痕/果) Number of egg-laying marks per fruit	有卵痕数(痕/果) Number of berried egg-laying marks per fruit
脐橙 *Citrus sinensis* cv. Navel	2.36 ±1.37 a	1.22 ±0.10 a
酸橙 *C. aurantium*	1.95 ±0.10 b	1.02 ±0.07 a
冰糖橙 *C. sinensis* cv. Bingtang	1.86 ±0.10 b	1.11 ±0.08 a
蜜橘 *C. reticulata* cv. Satsuma	1.73 ±0.08 bc	0.78 ±0.06 b
沙田柚 *C. maxima* cv. Shatian	1.44 ±0.09 cd	0.00 ±0.00 d
椪柑 *C. reticulata* cv. Ponkan	1.19 ±0.08 de	0.22 ±0.08 c
天草 Amakusa	1.09 ±0.04 e	1.04 ±0.02 a

表中数据为平均值 ± 标准误，同列数据后小写字母不同表示经 Duncan 氏新复极差法检验差异显著($P<0.05$)。Data in the table are mean ± *SE*, and those in the same column followed by different lowercase letters are significantly different at the 0.05 level by Duncan's new multiple range comparison.

2.2　柑橘大实蝇在不同品种柑橘的产卵情况比较

2.2.1　不同品种柑橘产卵痕数和有卵痕数比较：对随机采自同一地区的虫果，包括 96 个脐橙、105 个酸橙、97 个冰糖橙、80 个天草、118 个蜜橘、95 个沙田柚和 37 个椪柑的表皮上产卵痕数和果内的卵量进行统计，发现柑橘大实蝇雌虫产卵针刺探果实次数(产卵痕数)和实际产卵量因柑橘品种的不同而有差异(表 1)。其中，脐橙上产卵痕最多，显著多于其他品种柑橘上的产卵痕($P<0.05$)；其次是酸橙和冰糖橙上的产卵痕，多于蜜橘上的，三者间差异不显著($P>0.05$)，但显著多于沙田柚上的产卵痕($P<0.05$)；再者是沙田柚上的，其表皮上产卵痕多于椪柑上的且差异不显著($P>0.05$)，但均显著多于天草上的($P<0.05$)。

分析其中有卵痕数发现，平均每个柑橘果实的有卵痕数由多到少的顺序为脐橙、酸橙、冰糖橙、天草＞蜜橘＞椪柑＞沙田柚，说明柑橘大实蝇雌虫产卵时需要先用产卵器进行刺探，以决定是否适合产

卵。脐橙上虽然有卵痕最多,有卵痕率(51.69%)低于有卵痕少的天草(有卵痕率可高达95.41%),而沙田柚上虽然产卵痕相对较多,但解剖后却并未发现其中有卵。

2.2.2 柑橘大实蝇在不同柑橘品种上的产卵量比较:对上述7个品种柑橘虫果内的卵量进行统计(图2)发现,脐橙内的卵量最多(平均8.29粒/果),酸橙(7.17粒/果)与其相近;其次是冰糖橙(6.26粒/果)。冰糖橙平均卵量多于天草(5.49粒/果),两者差异不显著($P > 0.05$),冰糖橙平均卵量显著多于蜜橘(4.11粒/果)($P < 0.05$),蜜橘内的平均卵量显著多于椪柑(0.65粒/果)($P < 0.05$),所调查的沙田柚果实内未发现柑橘大实蝇卵。

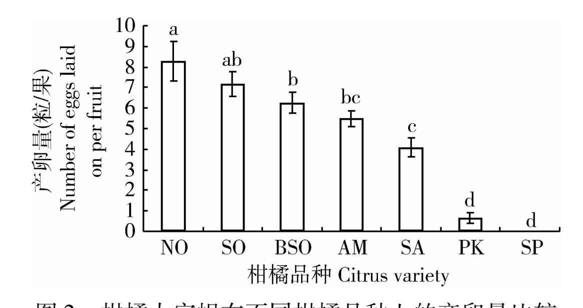


图2 柑橘大实蝇在不同柑橘品种上的产卵量比较

Fig. 2 Comparison of the number of eggs laid by *Bactrocera minax* on different citrus varieties

柱上小写字母不同表示经Duncan氏新复极差多重比较在0.05水平差异显著;图3和6同。Different lowercases above bars indicate significant difference at the 0.05 level by Duncan's new multiple range comparison. The same for Figs. 3 and 6.

2.2.3 不同柑橘品种有卵痕内卵量比较:进一步对果实上每个有卵痕内的卵量进行统计分析(图3),发现各柑橘品种每个有卵痕的平均卵量由高到低的顺序是酸橙(7.49粒/痕)、脐橙(6.27粒/痕)、冰糖橙(5.97粒/痕)>天草(5.33粒/痕)、蜜橘(5.15粒/痕)>椪柑(3.29粒/痕)>沙田柚(0粒/痕)。

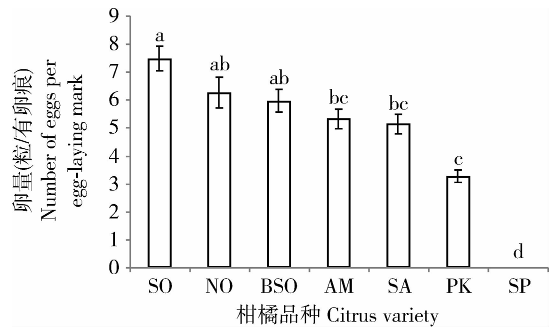


图3 柑橘大实蝇在不同柑橘品种有卵痕卵量比较

Fig. 3 Comparison of the number of eggs laid by *Bactrocera minax* in berried egg-laying marks on fruits of different citrus varieties

2.2.4 柑橘大实蝇对不同品种柑橘产卵部位的选择:对各品种柑橘基半部和端半部的产卵痕数量进行比较发现(图4),脐橙、酸橙、冰糖橙、天草和沙田柚端半部产卵痕数均极显著多于基半部产卵痕数($P < 0.01$),而蜜橘基半部的产卵痕数则极显著多于端半部($P < 0.01$),椪柑端半部产卵痕数多于基半部产卵痕数($P > 0.05$)。

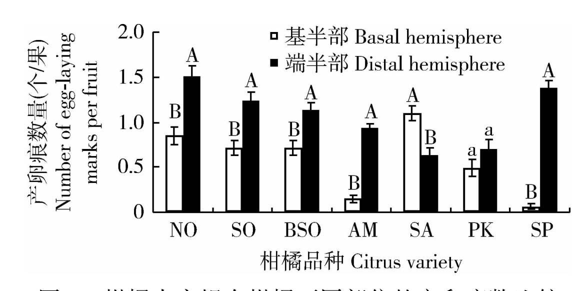


图4 柑橘大实蝇在柑橘不同部位的产卵痕数比较

Fig. 4 Comparison of the number of egg-laying marks by *Bactrocera minax* on different parts of citrus fruits

柱上大小写字母不同分别表示经成对数据 T 检验在0.01和0.05水平差异显著;图5同。Different capital and lowercase letters above paired bars indicate extremely significant difference at the 0.01 level and significant difference at the 0.05 level by paired T test, respectively. The same for Fig. 5.

对上述柑橘品种基半部和端半部卵量进行比较和分析(图5)发现,柑橘大实蝇在脐橙、酸橙、冰糖橙、天草端半部内卵量均显著多于基半部内的卵量($P < 0.01$),而蜜橘基半部的卵量显著多于端半部卵量($P < 0.05$),椪柑端半部卵量与基半部卵量相当,沙田柚基半部和端半部内均无卵。

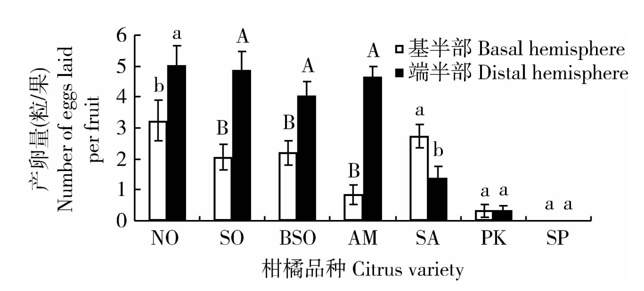


图5 柑橘大实蝇在柑橘不同部位的产卵量比较

Fig. 5 Comparison of number of eggs laid by *Bactrocera minax* on different parts of citrus fruits

2.3 柑橘大实蝇幼虫对不同品种柑橘类水果的喜嗜性

橘瓣选择法测试结果发现,柑橘大实蝇幼虫对不同柑橘品种果实的喜嗜性有明显差异(图6)。各组幼虫的选择结果是:酸橙>冰糖橙>天草>沙田柚(图6: A),酸橙>天草>蜜橘>椪柑(图6: B),脐橙、酸橙>南橘>蜜橘(图6: C),脐橙、酸橙>冰

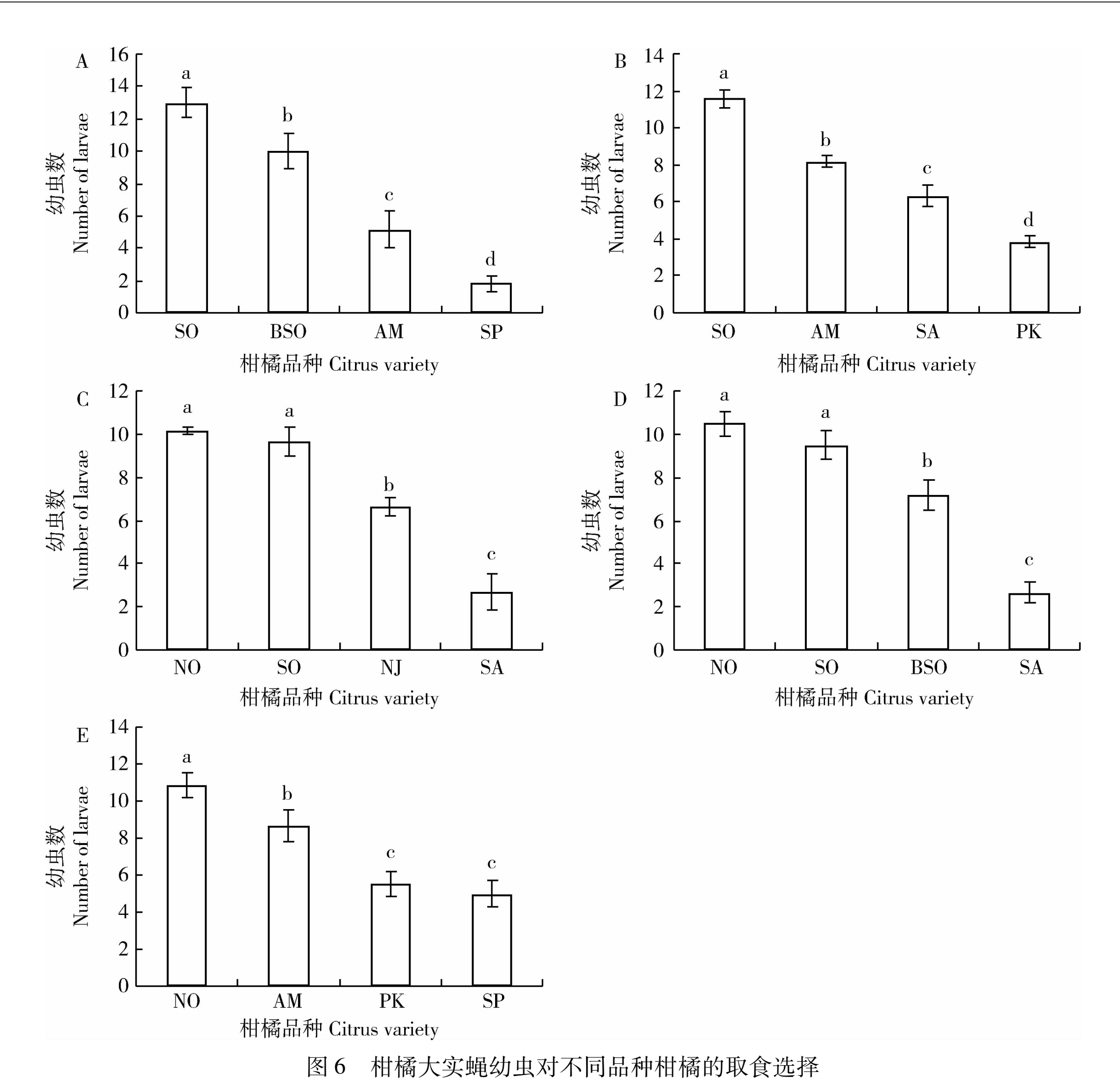


图 6　柑橘大实蝇幼虫对不同品种柑橘的取食选择

Fig. 6　Feeding choice of *Bactrocera minax* larvae on different citrus varieties

NJ：南橘 *Citrus reticulata* cv. Nanju.

糖橙 > 蜜橘(图 6：D)，脐橙 > 天草 > 椪柑、沙田柚(图 6：E)。

综合分析上述 5 组结果发现，柑橘大实蝇幼虫对食物的选择有明显偏向性，在供测试的 8 个品种中，其取食选择顺序为脐橙、酸橙 > 冰糖橙 > 天草、南橘 > 蜜橘 > 椪柑 > 沙田柚。可以看出，柑橘大实蝇幼虫对橙类果实的喜嗜程度明显高于橘类和沙田柚的果实。

3　讨论

3.1　柑橘大实蝇成虫的产卵选择与幼虫取食喜好密切相关

昆虫完成对某种特定寄主植物的选择包括对寄主的接受(如产卵行为)和后代生存发育两方面的综合过程(Costa *et al.*, 2011)。实蝇类的完全变态生物学特征使得幼虫需靠雌成虫所选择的营养资源生存，因此产卵和幼虫取食是实蝇寄主选择中两个紧密关联的环节，其综合过程决定实蝇种群数量的发展趋势(Burrack and Zalom, 2008)。张灿等(2012)研究木瓜实蝇 *Bactrocera papayae* 发现，成虫产卵偏好的寄主，对其幼虫发育适合性越高，后代的生存和发展能力也越强。

我们调查橘园果树上不同方位虫果率发现，当果园周围离杂树林较远时，果树各方位的虫果率差异不显著，而离杂树林较近时，果树朝杂树林的方位虫果率较高，说明柑橘大实蝇有从周围杂树林栖息处回柑橘园时，会选择先遇到的果实产卵，而与地理磁场和光照无明显相关。因此，在悬挂诱瓶或喷施农药时，挂在或者喷在朝着杂树林的方位，效果更好。

我们研究发现橙类(如脐橙、酸橙和冰糖橙)的

虫果率均高于橘类和沙田柚,通过对虫果产卵痕和卵量的统计分析,发现相比于橘类(天草、蜜橘和椪柑)和沙田柚的果实,柑橘大实蝇成虫偏向于在橙类果实上产卵,而且产卵量更多,与林文力等(2011)的结果一致;柑橘大实蝇产卵时,用产卵器穿透柑橘果实,并将卵产于果瓤中。在果实内,孵化出的幼虫直接取食果肉生长发育直至化蛹,故本研究的幼虫选择性实验取果肉而非果皮。幼虫对于橙类(如脐橙、酸橙和冰糖橙)橘瓣的喜嗜性也明显强于橘类(如南橘、天草、蜜橘和椪柑等)和沙田柚,说明柑橘大实蝇成虫的产卵选择性与其幼虫的喜嗜性之间有着紧密的联系,柑橘大实蝇成虫选择其幼虫喜嗜性较强的柑橘品种上产卵而且产卵量更大,与郑小萍等(2007)研究柑橘小实蝇 *B. dorsalis* 的结果类似,并支持 Jaenike(1978)的最优产卵理论(optimal oviposition theory)。在脐橙、酸橙、冰糖橙、天草、蜜橘、沙田柚、椪柑这 7 个品种的柑橘中,除了蜜橘外,柑橘大实蝇的成虫更加偏向柑橘的端半部产卵,而且脐橙、酸橙、冰糖橙和天草在端半部产卵量更多。

3.2 柑橘大实蝇在不同品种柑橘危害有差异的原因

影响实蝇对寄主的选择因素是复杂的,主要包括果型、果皮厚薄程度、硬度大小、果实含糖量以及气味等因素,也可能是多个因素共同作用的结果,其中包括物理、化学和生物因素等都起着极其重要的作用(Pontes *et al*., 2010; 王玉群等,2012),柑橘小实蝇在选择水果表皮产卵时,水果表皮的坚硬度是影响柑橘小实蝇产卵选择的重要因素(Rattanapun *et al*., 2010)。相对于丝瓜 *Luffa cylindrica*、番木瓜 *Carica papaya* 和南瓜 *Cucurbita moschata*,瓜实蝇 *B. cucurbitae* 更倾向于在果皮硬度相对较小的苦瓜上产卵(彭帅等,2013)。(*E*)-6-壬烯-1-丁酸为瓜实蝇的主要产卵引诱物质,苯甲酸乙酯是柑橘小实蝇雌虫产卵的引诱物质(张淑颖等,2006)。苹果中的己酸丙酯、己酸丁酯和丁酸己酯等化合物能引发苹果实蝇 *Rhagoletis pomonella* 的触角电位反应(Dong *et al*., 2013)。

我们认为,柑橘大实蝇对不同柑橘品种危害的差异主要和果实自身特性及物侯期有关,即果瓤形成与柑橘大实蝇的产卵期是否吻合、果实大小、果皮厚度硬度有关,与林文力等(2011)研究结果一致。酸橙和天草的物候期与脐橙相似,受柑橘大实蝇危害时间长,因此虫果率也较高,沙田柚虽然果瓤形成时间最早,但因果皮坚硬而厚,柑橘大实蝇成虫难以将产卵器延伸至果肉部位,故没有在沙田柚果实内发现虫卵。

同时,柑橘大实蝇在柑橘不同部位的产卵选择与橘皮的结构有关,端半部橘皮较薄而软,柑橘大实蝇成虫产卵器容易刺穿,而橘皮基半部果皮则由于组织结构紧密,果皮较硬不容易被刺穿,因此脐橙、酸橙、冰糖橙、天草、沙田柚和椪柑的端半部产卵痕数和卵量更多。

柑橘大实蝇在橙类上的产卵痕数,果内卵量和每个有卵痕的卵量均较橘类和沙田柚高且差异显著($P<0.05$),我们认为除了物候、果实直径和果皮内部结构外,柑橘大实蝇对不同柑橘品种和部位的产卵选择,还与柑橘的化学成分的差异有关(将以另文发表),橙类产生的挥发性气味更能吸引成虫和幼虫,这些也是影响柑橘大实蝇成虫产卵选择和幼虫取食选择的重要因素。由此我们认为,提取橙类橘皮和果肉中对柑橘大实蝇具有引诱作用的化学物质,作为柑橘大实蝇引诱剂的增效剂或者直接作为柑橘大实蝇的引诱剂,可以增强田间柑橘大实蝇的诱杀效果;另外,可以通过改良品种,筛选和培育品质优良并对柑橘大实蝇有抗性且物候与柑橘大实蝇发生不一致的品种,从而大大降低柑橘大实蝇的为害。

3.3 关于柑橘大实蝇幼虫的嗅觉功能

取食是幼虫为成虫阶段积累生物质能的重要形式,感觉器官在幼虫寻找食物的过程中起着重要的作用(Spanhoff *et al*.,2005)。昆虫的取食选择性受多种因素的共同影响,如食物挥发的信息化学物质、食物颜色以及其他理化特性等(Finch and Collier, 2000)。有些双翅目昆虫的幼虫依靠嗅觉来寻找寄主或食物,Mochizuki 等(1989)研究了葱蝇 *Delia antiqua* 幼虫嗅觉功能,用 33 种植物中存在的挥发性物质和 3 种硫化物研究幼虫反应,发现 1 龄和 3 龄幼虫均对 5 种醇、3 种醛、3 种脂肪酸、21 种酯类和 3 种绿叶挥发物有趋性,因此认为幼虫也可能利用这些挥发性的物质作为寻找寄主的线索。我们对柑橘大实蝇幼虫的嗅觉功能进行了 Y 型嗅觉仪初步测试,发现新鲜冰糖橙果汁气味对柑橘大实蝇幼虫具有引诱作用,但嗅觉反应与气味源之间的距离有关,说明柑橘大实蝇幼虫有嗅觉,但只能感受近距离的寄主气味物质,与其在寄主果实内生存、取食、发育直到化蛹才离开寄主的习性相适应。研究柑橘大实蝇幼虫的嗅觉反应的气味谱和气味阈值范围,对于阐明幼虫与成虫寄主选择的密切相关、开发幼

虫人工饲料，以及研究柑橘大实蝇成虫引诱增效剂提供依据，同时对于柑橘大实蝇嗅觉功能的研究也是尤为重要。

目前，从昆虫寄主植物中寻找其产卵和取食的信息化合物，并用于诱杀害虫，已成为害虫综合治理的重要措施（尹姣等，2005）。柑橘大实蝇的卵、幼虫、蛹期阶段均较隐蔽而不利防治，因此，裸露自由生活、补充营养和交配产卵的成虫阶段是其防控的重要时期。根据柑橘大实蝇成虫对不同柑橘品种的偏好性及其行为特性，进一步分离、筛选和鉴定与其产卵、取食有关的信息化学物质，对于柑橘大实蝇诱剂研制及其防控具有重要意义，相关工作正在进行中。

致谢　承蒙湖南怀化市植保植检站蒲祖康高级农艺师、石门县植保植检站罗成高级农艺师为本研究提供的诸多便利，在此一并表示衷心感谢！

参考文献（References）

Berdegue M, Reitz SR, Trumble JT, 1998. Host plant selection and development in *Spodoptera exigua*: do mother and offspring know best? *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 89: 57–64.

Burrack HJ, Zalom FG, 2008. Olive fruit fly (Diptera: Tephritidae) ovipositional preference and larval performance in several commercially important olive varieties in California. *Journal of Economic Entomology*, 101(3): 750–758.

Chen SX, Xie WZ, 1955. Taxonomic notes on the Chinese citrus fly, *Tetradacus citri* (Chen). *Acta Entomologica Sinica*, 5(1): 123–126.［陈世骧，谢蕴贞，1955. 关于桔大实蝇的学名及其种征. 昆虫学报，5(1)：123–126］

Costa AM, Amorim FO, Anjos-Duarte CS, Joachim-Bravo IS, 2011. Influence of different tropical fruits on biological and behavioral aspects of the Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae). *Revista Brasileira de Entomologia*, 55(3): 355–360.

Dong YC, Wang ZJ, Clarke AR, Pereira R, Desneux N, Niu CY, 2013. Pupal diapause development and termination is driven by low temperature chilling in *Bactrocera minax*. *J. Pest Sci.*, 86: 429–436.

Dorji C, Clarke AR, Drew RAI, Fletcher BS, Loday P, Mahat K, Raghu S, Romig MC, 2006. Seasonal phenology of *Bactrocera minax* (Diptera: Tephritidae) in western Bhutan. *Bulletin of Entomological Research*, 96: 531–538.

Drew RAI, Dorji C, Romig MC, Loday P, 2006. Attractiveness of various combinations of colors and shapes to females and males of *Bactrocera minax* (Diptera: Tephritidae) in a commercial mandarin grove in Bhutan. *Journal of Economic Entomology*, 99(5): 1651–1656.

Finch S, Collier RH, 2000. Host-plant selection by insects – a theory based on ‘appropriate/inappropriate landings’ by pest insects of cruciferous plants. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 96: 91–102.

Fontellas-Brandalha TML, Zucoloto FS, 2004. Selection of oviposition sites by wild *Anastrepha obliqua* (Macquart) (Diptera: Tephritidae) based on the nutritional composition. *Neotropical Entomology*, 33: 557–562.

Jaenike J, 1978. On optimal oviposition behaviour in phytophagous insects. *Theor. Popul. Biol.*, 14: 350–356.

Lin WL, Yang SZ, Pan MS, Chen HL, Huang ZP, Long JG, Xiao FL, 2011. The damage characteristics of *Tetradacus citri* Chen on different citrus varieties in Hunan province. *Hunan Agricultural Sciences*, 23: 95–97.［林文力，杨水芝，潘美山，陈海玲，黄泽培，龙建国，肖伏莲，2011. 湖南柑橘大实蝇对不同柑橘品种的危害特点研究初报. 湖南农业科学，23：95–97］

Liu H, Hou BH, Zhang C, He RR, Liang F, Guo MF, Wu MT, Zhao JP, Ma J, 2014. Oviposition preference and offspring performance of the oriental fruit fly *Bactrocera dorsalis* and guava fruit fly *B. correcta* (Diptera: Tephritidae) on six host fruits. *Acta Ecologica Sinica*, 34: 2274–2281.［刘慧，侯柏华，张灿，何日荣，梁帆，郭明昉，武目涛，赵菊鹏，马骏，2014. 桔小实蝇和番石榴实蝇对 6 种寄主果实的产卵选择适应性. 生态学报，34：2274–2281］

Mayhew PJ, 1997. Adaptative patterns of host-plant selection by phytophagous insects. *Oikos*, 79: 417–428.

Mochizuki A, Ishikawa Y, Matsunoto Y, 1989. Olfactory response of the larvae of the onion fly, *Hylemya antiqua* Meigen (Diptera: Anthomyiidae) to volatile compounds. *Appl. Entomol. Zool.*, 24(1): 29–35.

Patricelli D, Barbero F, La Morgia V, Casacci LP, Witek M, Balletto E, Bonelli S, 2011. To lay or not to lay: oviposition of *Maculinea arion* in relation to *Myrmica* ant presence and host plant phenology. *Animal Behaviour*, 82: 791–799.

Peng S, Zheng LX, Wu WJ, 2013. Host plant oviposition preference of *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett) (Diptera: Tephritidae). *Journal of Environmental Entomology*, 35(2): 273–276.［彭帅，郑丽霞，吴伟坚，2013. 瓜实蝇对寄主植物的产卵选择性. 环境昆虫学报，35(2)：273–276］

Pontes WJT, Lima ER, Cunha EG, Andrade PMTD, LobocAP, Barros R, 2010. Physical and chemical cues affect oviposition by *Neoleucinodes elegantalis*. *Physiological Entomology*, 35: 134–139.

Qin JD, Wang CZ, 2001. The relation of interaction between insects and plants to evolution. *Acta Entomologica Sinica*, 44(3): 360–365.［钦俊德，王琛柱，2001. 论昆虫与植物的相互作用和进化的关系. 昆虫学报，44(3)：360–365］

Rattanapun W, Amornsak W, Clarke AR, 2010. Is a mango just a mango? Testing within-fruit oviposition site choice and larval performance of a highly polyphagous fruit fly. *Arthropod-Plant Interactions*, 4: 35–44.

Ruan ZY, 2012. Study on Preference of *Bactrocera dorsalis* for Different Varieties of *Syzygium samarangense*. MSc Thesis, South China

Agricultural University, Guangzhou. 1－47. [阮赞誉, 2012. 桔小实蝇对不同莲雾品种的偏好性研究. 广州: 华南农业大学硕士学位论文. 1－47]

Spanhoff B, Kock C, Meyer A, Meyer E, 2005. Do grazing caddisfly larvae of *Melampophylax mucoreus* (Limnephilidae) use their antennae for olfactory food detection? *Physiological Entomology*, 30: 134－143.

Videla M, Valladares GR, Salvo A, 2012. Choosing between good and better: optimal oviposition drives host plant selection when parents and offspring agree on best resources. *Oecologia*, 169: 743－751.

Wang YQ, Huang SS, Zeng DQ, Li ZL, Ling Y, 2012. Research progress in host selection of fruit fly. *Journal of Southern Agriculture*, 43(5): 621－625. [王玉群, 黄树生, 曾东强, 李子玲, 凌炎, 2012. 实蝇对寄主选择的研究进展. 南方农业学报, 43(5): 621－625]

Williams L, Zhu YC, Snodgrass GL, Manrique V, 2012. Plant-mediated decisions by an herbivore affect oviposition pattern and subsequent egg parasitism. *Arthropod-Plant Interactions*, 6: 159－169.

Xiao W, Wu KM, Gong QT, Zhao ZM, He L, 2013. Pheromonal activity of rectum extracts from Chinese citrus fly (*Bactrocera minax*). *Scientia Agricultura Sinica*, 46(7): 1501－1508. [肖伟, 武可明, 宫庆涛, 赵志模, 何林, 2013. 柑橘大实蝇直肠粗提物的信息素功能. 中国农业科学, 46(7): 1501－1508]

Yin J, Cao YZ, Luo LZ, Hu Y, 2005. Oviposition preference of the meadow moth, *Loxostege sticticalis* L., on different host plants and its chemical mechanism. *Acta Ecologica Sinica*, 25(8): 1844－1852. [尹姣, 曹雅忠, 罗礼智, 胡毅, 2005. 草地螟对寄主植物的选择性及其化学生态机制. 生态学报, 25(8): 1844－1852]

Zhang C, Liu H, Liang F, Hu XN, Zhao JP, Ma J, 2012. Oviposition selection and larval suitability of *Bactrocera papayae* Drew & Hancock (Diptera: Tephritidae) on seven kind of fruits. *Journal of Environmental Entomology*, 34(3): 283－288. [张灿, 刘慧, 梁帆, 胡学难, 赵菊鹏, 马骏, 2012. 木瓜实蝇对七种寄主果实的选择性. 环境昆虫学报, 34(3): 283－288]

Zhang SY, Xiao C, Sun Y, 2006. Host selection of insect pests in Trypetidae. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 18(5): 92－95. [张淑颖, 肖春, 孙阳, 2006. 实蝇类害虫对寄主的选择. 江西农业学报, 18(5): 92－95]

Zheng XP, Liu QS, Xie Q, Zhang RJ, 2007. Influence of larvae feeding experience on the oviposition preference of *Bactrocera dorsalis*. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 44(6): 85－87. [郑小萍, 刘群山, 谢琦, 张润杰, 2007. 柑橘小实蝇幼虫取食经历对成虫产卵选择性的影响. 中山大学学报(自然科学版), 44(6): 85－87]

Zhou Q, Xiong ZY, Ou XM, 2011. Effects of sterols from *Xanthium sibiricum* (Compositae) on feeding, enzyme activities in the hemolymph and midgut, and midgut tissues of *Pieris rapae* (Lepidoptera: Pieridae) larvae. *Acta Entomologica Sinica*, 54(9): 1034－1041. [周琼, 熊正燕, 欧晓明, 2011. 苍耳甾醇物质对菜青虫的取食、血淋巴和中肠酶活性及中肠组织的影响. 昆虫学报, 54(9): 1034－1041]

(责任编辑: 袁德成)